



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 195 08 228 A 1**

⑤ Int. Cl.⁸:
A 61 N 5/10

⑳ Aktenzeichen: 195 08 228.1
㉔ Anmeldetag: 8. 3. 95
㉕ Offenlegungstag: 12. 9. 96

DE 195 08 228 A 1

㉚ Anmelder:
BrainLAB Med. Computersysteme GmbH, 85586
Poing, DE

㉛ Vertreter:
Schwabe, Sandmair, Marx, 81677 München

㉜ Erfinder:
Vilsmeier, Stefan, 85586 Poing, DE; Bertram,
Michael, 85551 Heimstetten, DE

㉞ Verfahren zur Bestrahlung eines in einem Zielobjekt liegenden Zielpunktes

㉟ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestrahlung eines in einem Zielobjekt liegenden Zielpunktes für ein während der Bestrahlung eine Folge von Stellungen durchlaufendes System mit einer beweglichen Strahlungsquelle und dem Strahlung von der Strahlungsquelle empfangenden beweglichen Zielobjekt. Dabei wird ein bewegliches Testobjekt in mehreren Stellungen des Systems bestrahlt, und räumliche Abweichungen der auftreffenden Strahlung von einem Bestrahlungs-Sollwert, gegeben durch die Lage des Testobjektes, werden festgestellt. Bei der Bestrahlung des Testobjektes werden die räumlichen Abweichungen des Bestrahlungs-Istwertes von dem Bestrahlungs-Sollwert in verschiedenen Stellungen des Systems gemessen, und eine Bestrahlungsfolge wird in Abhängigkeit von den ermittelten quantitativen räumlichen Abweichungen eingestellt. Anschließend wird das Zielobjekt mit der so eingestellten Bestrahlungsfolge bestrahlt.

DE 195 08 228 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestrahlung eines in einem Zielobjekt liegenden Zielpunktes für ein während der Bestrahlung eine Folge von 5 Stellungen durchlaufendes System der durch den Oberbegriff des Anspruchs 1 definierten Gattung.

Bei bestimmten Erkrankungen, wie zum Beispiel Gehirntumoren oder Gefäßmißbildungen, sind invasive neurochirurgische Behandlungsmethoden nicht immer 10 anwendbar und haben zudem den Nachteil, daß bei Anwendung dieser Methoden die Gefahr besteht, daß die den Krankheitsherd umgebenden gesunden Partien geschädigt werden können. Zur Behandlung dieser Fälle werden deshalb oft strahlentherapeutische Verfahren eingesetzt.

Bei einem solchen Verfahren muß zunächst, zum Beispiel mittels Computertomographie, die genaue Lokalisation der erkrankten Partien vorgenommen werden. Dadurch ist es möglich, bei der Bestrahlung die erkrankten 15 Partien mit einer höheren Dosis zu bestrahlen, während die umgebenden gesunden Partien mit einer geringeren Strahlendosis belastet werden.

Vor der Bestrahlung werden anhand der ermittelten Lage des erkrankten Gewebes die Parameter zur Steuerung der Bestrahlungsvorrichtung ermittelt. Das heißt, es werden die verschiedenen zu durchlaufenden Stellungen des Systems aus Strahlungsquelle und Patient zur Bestrahlung so festgelegt, daß kritische Bereiche, wie beispielsweise der Gehirnstamm oder die Sehnerven, 20 mit einer möglichst geringen Dosis bestrahlt werden, während die erkrankte Partie mit einer erwünschten höheren Dosis bestrahlt werden kann.

Die Bestrahlung wird dann zum Beispiel mittels eines drehbar gelagerten Linearbeschleunigers als Strahlungsquelle durchgeführt, so daß das Zielobjekt aus verschiedenen Winkeln bestrahlt werden kann. Desweiteren ist auch der Patient drehbar gelagert, so daß die Bestrahlung aus einer Vielzahl von Raumwinkeln vorgenommen werden kann.

Um die korrekte Einstellung des gesamten Systems einschließlich Bestrahlungsvorrichtung zu verifizieren, wird vor Beginn der eigentlichen Bestrahlung eines Patienten ein Test durchgeführt. Dieser Test ist in "Radiation Oncology Biol. Phys." Vol. 21 auf den Seiten 739 ff. sowie in einem Prospekt der Firma BrainLAB aus dem Jahr 1994 beschrieben und wird nachfolgend kurz erläutert. Zunächst wird eine Metallspitze eines Phantompointers an einer drehbaren Vorrichtung für die Auflage für den Patienten unter Zuhilfenahme von Lasern so ausgerichtet, daß sie genau im gewünschten Bestrahlungszentrum liegt. Anschließend wird die Metallspitze durch einen Kunststoffeinsatz mit einer kleinen Wolframkugel an der Spitze ersetzt, die den Zielpunkt der Bestrahlung simulieren soll. Schließlich wird mit Hilfe eines mit der Strahlungsquelle fest verbundenen Filmhalters ein Verifikationsfilm in Richtung des Austritts der Strahlung plaziert. Verschiedene Stellen des Filmes werden dann bei verschiedenen Stellungen von Strahlungsquelle und drehbarer Vorrichtung bestrahlt. Dabei ist auf dem Film ein heller Schatten, verursacht durch die Wolframkugel, zu erkennen, aus dessen Zentrierung ermittelt werden kann, ob die Strahlen der Strahlungsquelle für alle Stellungen der Strahlungsquelle und des drehbaren Patiententisches durch denselben Punkt verlaufen. Dies ist besonders wichtig, da im Falle einer größeren mechanischen Ungenauigkeit, die zum Beispiel durch natürliche Alterung, zu starke Toleranzen

oder fehlerhafte Wartung verursacht werden kann, die vorberechnete Dosisverteilung im Zielobjekt stark von der realen Dosisverteilung des bestrahlten Objektes abweicht, was zur Folge haben kann, daß unter Umständen 5 gesundes Gewebe, wie zum Beispiel der Sehnerv, zerstört wird.

Gemäß dem gegenwärtigen Stand der Technik wird eine bestimmte Abweichung des Schattens der Wolframkugel von der exakten Zentrierung in Kauf genommen. Stellt man fest, daß in allen durchgeführten Aufnahmen der Schatten um zum Beispiel weniger als 0,2 mm vom exakten Mittelpunkt entfernt liegt, so wird dies als genau genug erachtet, um mit der Bestrahlung zu beginnen. Sind die Abweichungen zu groß, so muß der Test noch einmal durchgeführt werden, um so mögliche Fehler durch zu ungenaue Einstellungen auszuschließen. Treten bei diesem erneuten Test immer noch zu große Abweichungen auf, so muß der genaue Grund für diese Ungenauigkeiten gefunden und beseitigt werden. 15 Dazu können dann verschiedene Tests durchgeführt werden.

Dieses Verfahren hat jedoch den Nachteil, daß selbst diese vergleichsweise geringe Ungenauigkeit der mechanischen Einrichtung bewirken kann, daß gesundes und besonders schützenswertes Gewebe mit einer weit- 25 aus höheren Dosis als erwünscht bestrahlt wird, während das erkrankte Gewebe mit einer deutlich niedrigeren als der vorherbestimmten Dosis behandelt wird. Dies kann dazu führen, daß zum Beispiel besonders schützenswertes Gewebe zerstört wird, während ein zu behandelnder Tumor mit einer niedrigeren als erforderlichen Dosis bestrahlt wird, wenn zum Beispiel der Tumor dicht neben dem Gehirnstamm oder den Sehnerven liegt.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren vorzuschlagen, das die oben beschriebenen Nachteile des Standes der Technik nicht aufweist. Insbesondere soll ein Verfahren vorgeschlagen werden, das eine sehr exakte Justierung des Systems ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst.

Zweckmäßige Ausführungsformen beziehungsweise Verfahrensabläufe ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die mit der Erfindung verbundenen Vorteile beruhen auf folgender Verfahrensweise: Die mechanisch bedingten Toleranzschwankungen des Systems einschließlich der Bestrahlungsanordnung, die über die auf jeder Einzelaufnahme vom Mittelpunkt abweichende Lage des Schattens des Testobjektes auf dem Testfilm festgelegt sind, werden für das weitere Verfahren berücksichtigt, indem die räumliche Abweichung des Schattens des Testobjektes vom Mittelpunkt einer jeden Einzelaufnahme, die in einer bestimmten Stellung des Systems aufgenommen wurde, ausgemessen, die Ergebnisse dieser Messung für das weitere Verfahren in Abhängigkeit von den so ermittelten quantitativen räumlichen Abweichungen zur verbesserten Ermittlung einer Bestrahlungsabfolge verwendet und das Zielobjekt anschließend mit der so verbesserten Bestrahlungsabfolge bestrahlt werden. Man erreicht dadurch, daß diese Ungenauigkeiten nicht mehr in Kauf genommen werden müssen und die unvermeidlichen mechanisch bedingten Abweichungen des Systems von der Soll-Position bei der Bestrahlung berücksichtigt werden können, so daß die Bestrahlung präziser als bei den bisher bekannten Verfahren vorgenommen werden kann.

Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens besteht darin,

daß es dem Umstand Rechnung trägt, daß normalerweise Bestrahlungsvorrichtungen, bedingt durch Abnutzungsprozesse, mit fortschreitendem Alter zunehmend schlechtere Bestrahlungsergebnisse erzielen. Diesem Trend kann durch die beschriebene Regelung entgegen gewirkt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird als Testobjekt eine Wolframkugel verwendet, die sich als vergleichsweise preisgünstig herausgestellt hat und exakte Ergebnisse liefert.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die Messung der räumlichen Abweichungen der Bestrahlungs-Istwerte von den Bestrahlungs-Sollwerten durch ein optisches Verfahren vorgenommen, insbesondere ein fotografisches Verfahren, wobei durch den Schatten des Testobjektes auf einem strahlungsempfindlichen Film festgestellt werden kann, ob eine mechanische Ungenauigkeit bei einer bestimmten Einstellung des Systems vorliegt und wie groß die Abweichung bedingt durch diese Ungenauigkeit ist. Die hierfür erforderlichen Hilfsmittel stehen preisgünstig zur Verfügung und ermöglichen eine exakte Messung. Dabei kann zur Auswertung des Films ein handelsüblicher Durchlicht-Scanner eingesetzt werden, der die Ergebnisse der Messung in digitale Werte umwandelt, so daß ein Computer die Meßwertberechnung und Auswertung übernehmen kann.

Besonders bevorzugt wird unter Zuhilfenahme der ermittelten räumlichen Abweichungen der Bestrahlungs-Istwerte von den Bestrahlungs-Sollwerten eine Berechnung der Dosisverteilung der Strahlenbelastung im Zielobjekt vorgenommen, so daß die mechanisch bedingten Abweichungen bei dieser Berechnung berücksichtigt werden und somit die berechnete Dosisverteilung besser mit der theoretischen (?) Dosisverteilung übereinstimmt als ohne Berücksichtigung der mechanischen Ungenauigkeiten.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die berechnete Dosisverteilung der Strahlenbelastung im Zielobjekt bei der Einstellung einer neuen Bestrahlungsfolge berücksichtigt, so daß die mechanisch bedingten Ungenauigkeiten weitgehend ausgeglichen werden können.

Die Erfindung wird nachstehend anhand einer bevorzugten Ausführungsform unter Bezugnahme auf die nachstehenden Zeichnungen im einzelnen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer Anordnung zur Bestrahlung eines Testobjektes;

Fig. 2 vergrößert die Vorrichtung aus Fig. 1 zur Ermittlung der räumlichen Abweichung des Auftreffpunktes eines Teststrahles von einem theoretischen Sollwert;

Fig. 3 ein Ablaufdiagramm für ein Verfahren zur Ermittlung einer verbesserten Bestrahlungsfolge zur Bestrahlung eines Patienten; und

Fig. 4 ein alternatives Ablaufdiagramm für ein Verfahren zur Ermittlung einer verbesserten Bestrahlungsfolge zur Bestrahlung eines Zielobjektes.

In der perspektivischen Ansicht der Fig. 1 ist eine Gantry 1 gezeigt, in der ein Linearbeschleuniger (nicht gezeigt) als Strahlenquelle angeordnet ist. Die Strahlung tritt durch einen Kollimator 2 aus, der an der Gantry 1 befestigt ist. An einer Befestigungsvorrichtung 11 des Kollimators 2 ist eine Haltevorrichtung 10 angebracht, die einen Filmhalter 4 so lokalisiert, daß in diesen ein Film 5 eingelegt werden kann; der Film 5 wird in etwa senkrecht von einem Strahl 8 aus dem Kollimator 2 getroffen.

In dem Strahl 8 ist eine als Testobjekt dienende Wolframkugel 7 angeordnet. Der theoretische Zielpunkt des Bestrahlungsverfahrens, in dem die Wolframkugel 7 positioniert ist, wird ermittelt, indem zunächst unter Zuhilfenahme von Lasern eine Metallspitze eines Phantompointers so ausgerichtet wird, daß die Metallspitze im gewünschten Bestrahlungszentrum liegt. Anschließend wird die Metallspitze durch einen Plexiglasstab 6 mit der Wolframkugel 7 an der Spitze ersetzt.

Der Plexiglasstab 6 ist fest mit einem drehbaren Tisch 3 verbunden. Der drehbare Tisch 3 ist vor der Gantry 1 unter der Strahlungsquelle angeordnet und kann eine Auflage für einen zu bestrahlenden Patienten aufnehmen.

Auf dem Film 5 wird mit dem Strahl 8 eine Aufnahme 9 erzeugt, die je nach Lage der Wolframkugel 7 in dem Strahl 8 eine unterschiedliche Form besitzt. Die Aufnahme 9 weist einen kreisförmigen helleren Schatten 13, verursacht durch die Wolframkugel 7, umgeben von einem ringförmigen belichteten dunkleren Rand 12 auf. Aus der Lage des Schattens 13 relativ zum Mittelpunkt des ringförmigen dunkleren Randes 12 kann eine Aussage über das Lageverhältnis von Strahl 8 und damit Kollimator 2 beziehungsweise Gantry 1 und Wolframkugel 7 gemacht werden. Somit kann durch mehrere solcher Aufnahmen 9, die in verschiedenen Stellungen der Gantry 1, 1a, 1b und verschiedenen Stellungen des drehbaren Tisches 3 zum Anbringen einer Auflage für den Patienten aufgenommen worden sind, ermittelt werden, in welchem Lageverhältnis von Gantry 1 und drehbarer Tisch 3 mechanisch bedingte Abweichungen auftreten.

Wie in Fig. 2 gezeigt, wird eine Aufnahme 9 durch das Bestrahlen der Wolframkugel 7 mit einem Strahl 8 gewonnen. Es befinden sich verschiedene Aufnahmen 9 auf dem Film 5. Durch das Ausmessen der Lage des helleren Schattens 13 relativ zum Mittelpunkt des ringförmigen Randes 12 mittels eines nicht gezeigten Durchlicht-Scanners und einer geeigneten Software kann eine quantitative Aussage über das Ausmaß der mechanischen Abweichungen in verschiedenen Stellungen des Systems gewonnen werden. Es kann somit jede seitliche Abweichung des Strahles 8 von dem gewünschten Sollwert, gegeben durch die Lage der Wolframkugel 7, festgestellt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestrahlung eines Zielobjektes ist in Fig. 3 schematisch als Ablaufdiagramm dargestellt. Zunächst werden verschiedene Aufnahmen 9 auf einem Film 5 in unterschiedlichen Lagen der Gantry 1 und des drehbaren Tisches 3 durchgeführt. Die Auswertung der Aufnahmen 9 erfolgt mittels eines Scanners, wobei quantitativ ermittelt wird, welche mechanischen Abweichungen in welcher Stellung des Systems vorliegen. Die Ergebnisse der Auswertung werden anschließend von der Software zur Steuerung der Bewegung von Gantry 1 und drehbarer Vorrichtung 3 bei der Berechnung einer verbesserten Bestrahlungsabfolge berücksichtigt. Somit kann die mechanisch bedingte Ungenauigkeit mit diesem Verfahren weitgehend eliminiert werden, und es kann eine präzisere Bestrahlung vorgenommen werden als bei Verwendung eines Verfahrens aus dem Stand der Technik, das gewisse mechanische Ungenauigkeiten in Kauf nimmt und das in Fig. 3 gezeigte Verfahren nicht verwendet.

In Fig. 4 ist ein weiteres erfindungsgemäßes Verfahren zur Bestrahlung eines Zielobjektes gezeigt, wobei hier, zusätzlich zu dem oben beschriebenen Verfahren, zunächst die Verteilung der Strahlendosis im bestrahlten Zielobjekt berechnet wird. Die Ergebnisse dieser

Berechnung werden anschließend wieder von der Software zur Steuerung der Bewegung von Gantry 1 und drehbarer Tisch 3 bei der Berechnung einer verbesserten Bestrahlungsabfolge berücksichtigt. Somit kann zunächst eine Verteilung der Strahlendosis im Zielobjekt berechnet werden, die bereits die bei der realen Bestrahlung auftretenden und durch mechanische Ungenauigkeiten bedingten Abweichungen berücksichtigt und somit besser mit der realen Verteilung der Strahlendosis im Zielobjekt übereinstimmt. Aufgrund dieser Ergebnisse kann dann mit der Software zur Steuerung der Bewegung der Bestrahlungsvorrichtung eine verbesserte Einstellung einer Bestrahlungsfolge vorgenommen werden.

eine Dosisverteilung der Strahlenbelastung im Zielobjekt berechnet wird.

8. Verfahren nach einem der obenstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die berechnete Dosisverteilung der Strahlenbelastung im Zielobjekt zur Einstellung einer neuen Bestrahlungsfolge verwendet wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestrahlung eines in einem Zielobjekt liegenden Zielpunktes für ein während der Bestrahlung eine Folge von Stellungen durchlaufendes System mit einer beweglichen Strahlungsquelle und dem Strahlung von der Strahlungsquelle empfangenden beweglichen Zielobjekt, bei dem
 - a) ein bewegliches Testobjekt (7) in mehreren Stellungen des Systems bestrahlt wird; und
 - b) räumliche Abweichungen der auftreffenden Strahlung von einem Bestrahlungs-Sollwert, gegeben durch die Lage des Testobjektes (7), festgestellt werden;
 gekennzeichnet durch die folgenden Merkmale:
 - c) bei der Bestrahlung des Testobjektes (7) werden die räumlichen Abweichungen eines Bestrahlungs-Istwertes von dem Bestrahlungs-Sollwert in verschiedenen Stellungen des Systems gemessen;
 - d) eine Bestrahlungsfolge wird in Abhängigkeit von den ermittelten quantitativen räumlichen Abweichungen eingestellt; und
 - e) das Zielobjekt wird mit der so eingestellten Bestrahlungsfolge bestrahlt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Testobjekt eine Wolframkugel (7) verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung der räumlichen Abweichungen der Bestrahlungs-Istwerte von den Bestrahlungs-Sollwerten durch ein optisches Verfahren erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als optisches Verfahren ein fotografisches Verfahren verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der obenstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermittlung der Abweichungen der Bestrahlungs-Istwerte von den Bestrahlungs-Sollwerten elektronisch vorgenommen wird.
6. Verfahren nach einem der obenstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermittlung der Abweichungen der Bestrahlungs-Istwerte von den Bestrahlungs-Sollwerten mit einem Scanner vorgenommen wird, insbesondere mit einem Durchlicht-Scanner dessen digitale Darstellung ausgewertet wird.
7. Verfahren nach einem der obenstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus den ermittelten Abweichungen zwischen jeweils zueinandergehörenden Bestrahlungs-Istwerten und Bestrahlungs-Sollwerten sowie der Bestrahlungsfolge

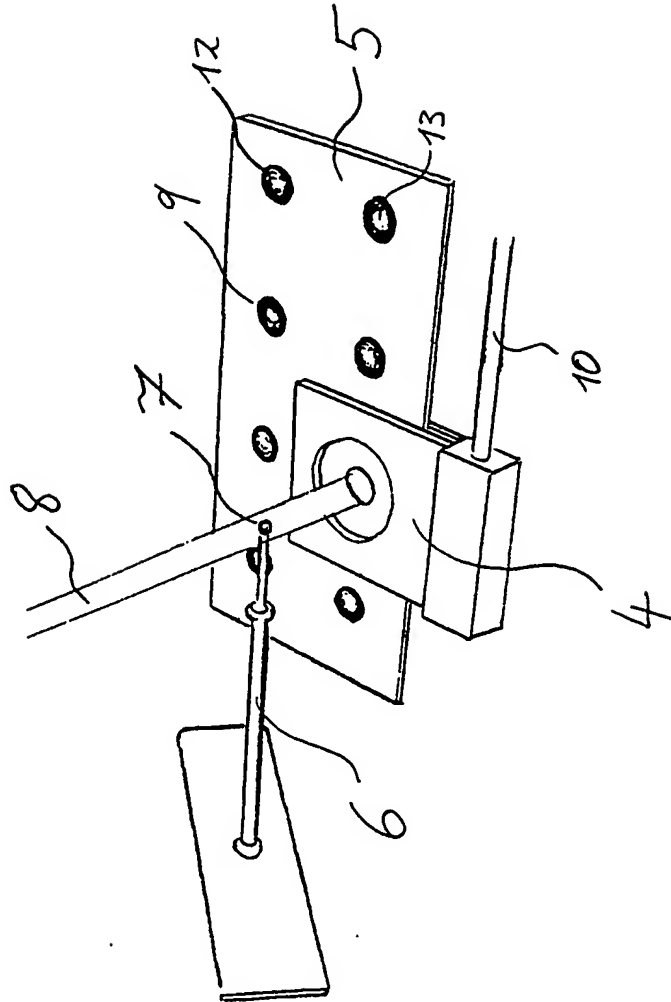


Fig. 2

Fig. 1

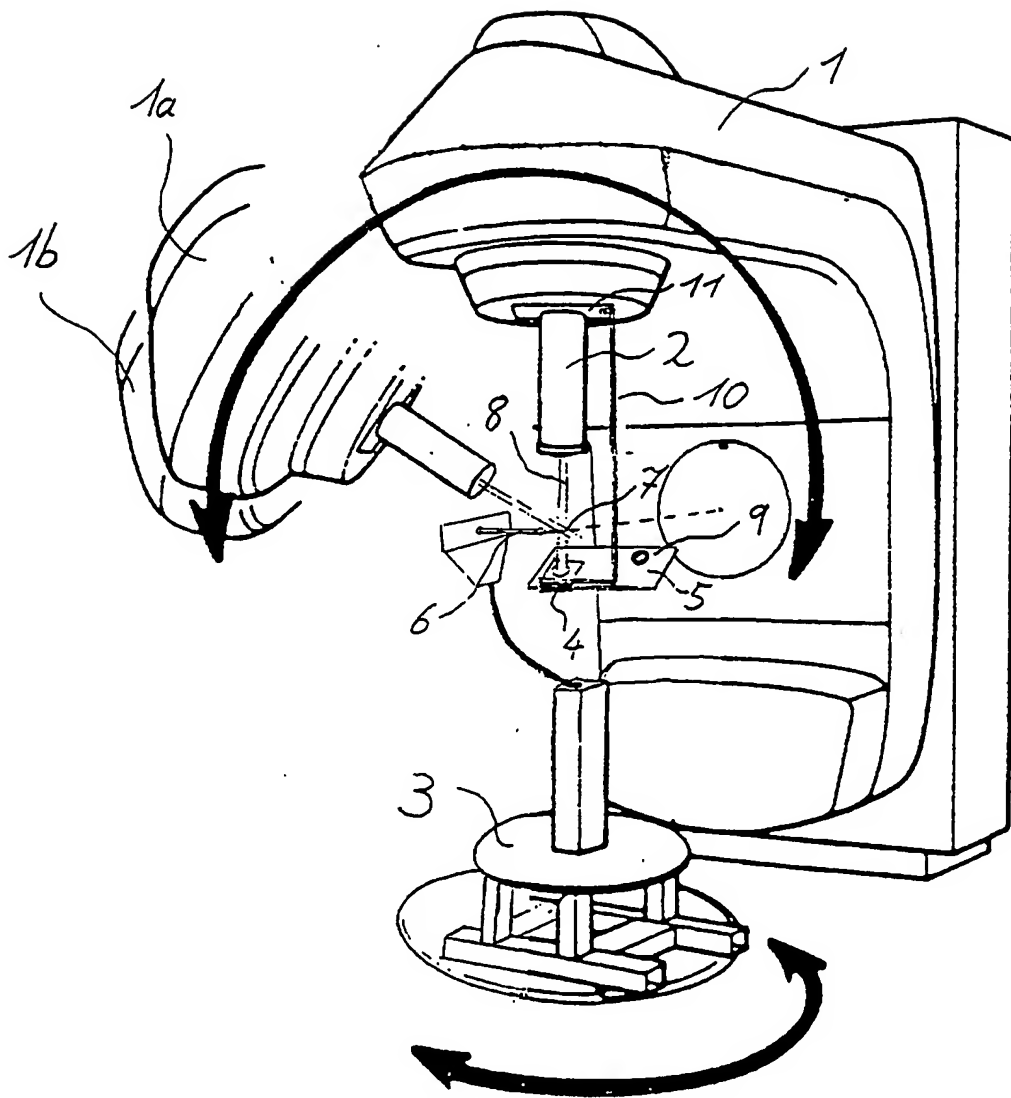


Fig. 3

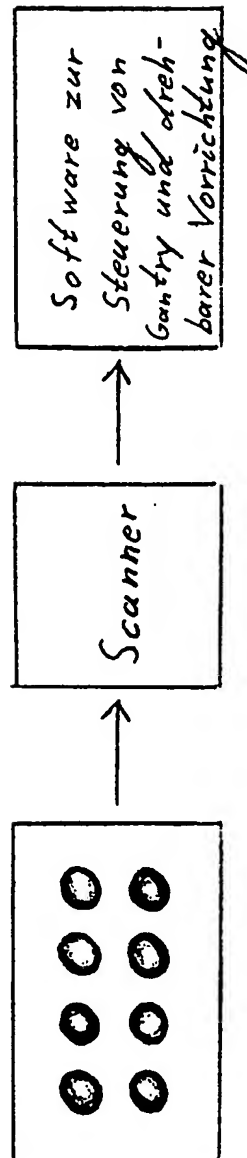


Fig. 4

